

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-318026

(43)Date of publication of application : 07.11.2003

(51)Int.Cl.

H01F 10/193  
H01F 1/40  
H01L 43/08  
// H01F 41/30

(21)Application number : 2003-037000

(71)Applicant : NATIONAL INSTITUTE OF  
ADVANCED INDUSTRIAL &  
TECHNOLOGY

(22)Date of filing : 14.02.2003

(72)Inventor : SAITO HIDEKAZU  
WADIM ZAETS  
ANDO KOJI

(30)Priority

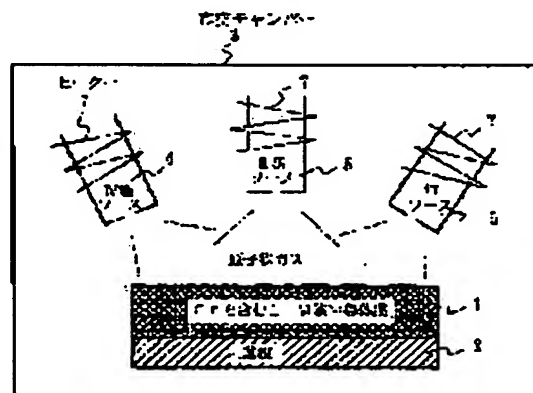
Priority number : 2002040895 Priority date : 19.02.2002 Priority country : JP

## (54) INSULATING FERROMAGNETIC SEMICONDUCTOR

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a semiconductor which is insulating and ferromagnetic.

SOLUTION: A part of an element of group II contained in a semiconductor of II-VI groups is replaced with Cr through a molecular epitaxy method so as to synthesize the insulating ferromagnetic semiconductor. Zn, Cd, or Hg is selected as the element of group II, and S, Se, Te, or O is selected as the element of group VI. The insulating ferromagnetic semiconductor grows to a single crystal on a substrate such as a GaAs single crystal substrate, a sapphire single crystal substrate, a glass substrate or the like having the same crystal structure with the semiconductor mother phase of groups II-VI and a lattice constant nearly equal to that of the semiconductor of groups II-VI. The insulating ferromagnetic semiconductor varies in electrical resistivity as reacting very sensitively to a very weak magnetic field, so that it is suitable as a high-sensitivity magnetic sensing material such as a sensor material and magnetic read/write head material.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

24.11.2004

[Date of sending the examiner's decision of  
rejection]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-318026

(P2003-318026A)

(43) 公開日 平成15年11月7日 (2003. 11. 7)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テームト <sup>7</sup> (参考)
H 0 1 F 10/193		H 0 1 F 10/193	5 E 0 4 0
1/40		H 0 1 L 43/08	S 5 E 0 4 9
H 0 1 L 43/08		H 0 1 F 41/30	
// H 0 1 F 41/30		1/00	A

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 4 頁)

(21) 出願番号 特願2003-37000(P2003-37000)

(22) 出願日 平成15年2月14日 (2003. 2. 14)

(31) 優先権主張番号 特願2002-40895(P2002-40895)

(32) 優先日 平成14年2月19日 (2002. 2. 19)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

特許法第30条第1項適用申請有り 2001年9月11日

(社) 応用物理学会発行の「2001年(平成13年)秋季第62回応用物理学会学術講演会講演予稿集 第3分冊」に発表

(71) 出願人 301021533

独立行政法人産業技術総合研究所

東京都千代田区霞が関1-3-1

(72) 発明者 齋藤 秀和

茨城県つくば市東1-1-1 独立行政法人

産業技術総合研究所つくばセンター内

(72) 発明者 バディム ザエツ

茨城県つくば市東1-1-1 独立行政法人

産業技術総合研究所つくばセンター内

(72) 発明者 安藤 功兒

茨城県つくば市東1-1-1 独立行政法人

産業技術総合研究所つくばセンター内

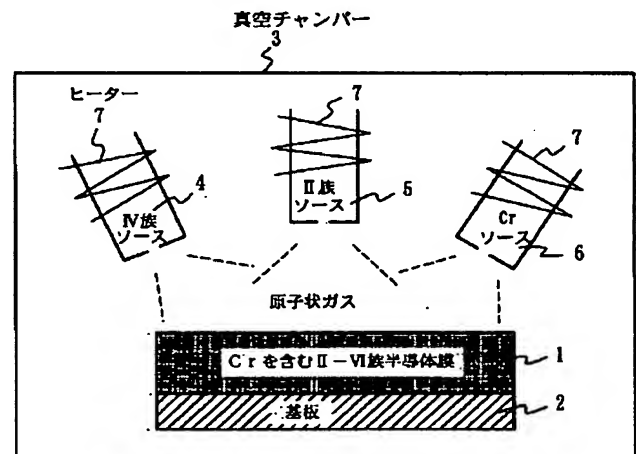
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 絶縁性強磁性半導体

(57) 【要約】

【課題】 絶縁性及び強磁性を兼ね備えた半導体を提供すること。

【解決手段】 分子エピタキシー法により、II-VI族半導体のII族元素の一部をCrで置換して絶縁性強磁性半導体を合成する。II族元素としては、Zn、Cd、Hg、VI族元素としてはS、Se、Te、Oが選択できる。本発明の半導体を、II-VI族半導体母相と同じ結晶構造を有し、かつ格子定数の相違が小さなもの、例えば、GaAs単結晶基板、サファイア単結晶基板、ガラス基板などを使用すると、本発明の絶縁性強磁性半導体は単結晶となる。又、本発明の半導体は微弱な磁場に対して電気抵抗率が高感度に感応するので高感度磁気感応材料として、センサー材料、磁気読み取り書き込みヘッド材料として適している。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 II-VI 族半導体の II 族元素を Cr で置換したことを特徴とする絶縁性強磁性半導体。

【請求項 2】 電気抵抗が磁場に対して負の変化率を示すことを特徴とする請求項 1 記載の絶縁性強磁性半導体。

【請求項 3】 請求項 2 記載の電気抵抗変化率が 20 パーセント以上であることを特徴とする請求項 1 記載の絶縁性強磁性半導体。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、絶縁性かつ強磁性を示す半導体に関し、特に Cr で置換した II-VI 族半導体に関する。

## 【0002】

【従来の技術】既存の Si や化合物半導体では実現できないメモリ機能を有する光デバイスやスピンを利用したトランジスタ等の新デバイス創造のためには、半導体の透明性と磁性体の強磁性的磁気特性を併せ持つ材料が必要である。そのため、強磁性を示す半導体の研究開発が活発化している。

【0003】近年、III-V 族半導体、例えば GaAs 内の Ga の一部を Mn で置換した物質で約 100 K 以下の極低温ながら強磁性を示す半導体が合成された（例えば、非特許文献 1、2 参照）。しかしながら、上記物質は、 $10^{19} \text{ cm}^{-3}$  以上におよぶ多量のキャリア（ホール）を含み、その伝導特性は絶縁性を失って金属的となり、半導体の最大の特徴であるキャリア制御が困難である。さらに、キャリアは光を吸収する作用があるため、光学的特性も半導体の持つ透明性という特徴を失ってしまっ

## 【0004】

【非特許文献 1】 Ohno et al., Appl. Phys. Lett., 69 (1996) p. 363-p. 365

【非特許文献 2】 Oiwa et al., Solid State Communications, 103 (1997) p209-p213.

【0005】一方、多量の II 族元素の一部を Mn で置換した II-VI 族半導体物質はキャリア濃度が低く、電気抵抗率約  $10^3 \Omega \text{ cm}$  以上の絶縁性を示す。このため光に対して優れた透明性を有し、かつ巨大磁気光学効果（大きなファラデー効果、カー効果等）を示すことから光エレクトロニクス材料として実用化されている。例えば、(Cd, Mn)Te は光通信技術に必要な不可欠な光アイソレータ材料として用いられている。しかしながら、この半導体物質は常磁性又はスピングラスで、強磁性を示さない。

## 【0006】

【発明が解決しようとする課題】上記のように、半導体新スピンドバイス創造のためには、良好な透明性、すなわち絶縁性を有しつつ、かつ強磁性を示す半導体材料が

求められている。しかしながら、このような特性を有する既存の半導体材料は存在せず、好ましいスピン半導体デバイスの実現は困難な状況にある。

## 【0007】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するために、本発明は II-VI 族半導体の II 族元素の一部又は全てを Cr で置換した薄膜を合成し、絶縁性と強磁性を兼ね備えた半導体物質を提供する。又、この半導体物質は、磁場に対して負の電気抵抗変化率を示し、特に、電気抵抗変化率が 20 パーセント以上であるため磁気感応材料として使用するのに好都合である。

## 【0008】

【発明の実施の形態】本発明の実施例について図面を参照して本発明を説明する。図 1 は、II 族元素の一部を Cr で置換した II-VI 族半導体物質を公知の分子線エピタキシー法により製造する場合の概念図を示す。図 1 中、1 は本発明の絶縁性強磁性半導体膜、Cr を含む II-VI 族半導体膜、2 は本発明の絶縁性強磁性半導体膜をその上に成長させる基板、3 は真空チャンバー、4 は II 族ソース又は固体ソース（以下単にソース）、5 は VI 族ソース、6 は Cr ソース、7 は各ソースを溶解・分離した原子状ガスを基板に向かって照射するためのヒーターを表す。

【0009】II 族ソース、VI 族ソースおよび Cr ソースからの各原子状ガスを基板 2 上に供給して、上記の Cr を含む II-VI 族半導体 1 を合成、作製する。各原子状ガス供給量は、各ヒーター 7 の温度により独立に調整できるので、この分子線エピタキシー法による作製では、Cr を数～100%置換した II-VI 族半導体物質を作製できる。

【0010】図 2 は、図 1 の分子線エピタキシー装置によって作製された II-VI 族半導体  $\text{Zn}_{0.965}\text{Cr}_{0.035}\text{Te}$  の Zn の一部を Cr で 3.5%置換した本発明の II-VI 族半導体膜例（ $\text{Zn}_{0.965}\text{Cr}_{0.035}\text{Te}$ ）において、5 K で測定された磁化曲線を示す。この磁化曲線にはヒステリシスが明瞭に生じ、零磁場においても残留磁化が存在することから、図 2 の本発明の半導体膜例は、強磁性体であることが示される。図 2 における本発明の半導体膜の強磁性転移温度（キュリー温度）は測定により約 15 K と見積もられる。

【0011】図 3 は、本発明の半導体膜例  $\text{Zn}_{0.965}\text{Cr}_{0.035}\text{Te}$  における電気抵抗率の温度依存性曲線 A を示す。比較のため、従来の強磁性を示す半導体物質である Mn を含む GaAs 半導体膜  $\text{Ga}_{0.95}\text{Mn}_{0.05}\text{As}$  における電気抵抗の温度依存性曲線 B も併せて示す。Mn を含む GaAs 半導体膜と比較して本発明の半導体膜例  $\text{Zn}_{0.965}\text{Cr}_{0.035}\text{Te}$  の電気抵抗は数桁高いことが、図 3 から分かる。また、本発明の半導体膜例は、強磁性転移温度（15 K）以下の低温領域では  $10^5 \Omega \text{ cm}$  以上である。この値は従来の絶縁性 II-VI 族磁性半導体物質

と同程である。

【0012】II-VI族半導体物質のII族元素としては、Zn、Cd、Hg、VI族元素としてはS、Se、Te、Oが選択できる。

【0013】合成する半導体物質は均質な膜特性を得るために単結晶であることが望ましい。それゆえ基板2としては、II-VI族半導体母相と同じ結晶構造を有し、かつ格子定数の相違が小さなものが望ましい。例えば、GaAs単結晶基板、サファイア単結晶基板、ガラス基板などが使用できる。基板温度は良質な結晶が得られる100℃～500℃が望ましい。

【0014】図4は、本発明の半導体膜例 $Zn_{0.98}Cr_{0.02}Te$ において温度20Kで測定された電気抵抗率の磁場（磁界の強さ）依存性を示す。横軸は半導体膜に印加される磁場の強さ、縦軸は半導体膜の電気抵抗変化率である。図中の矢印に付された①～④は磁場印加順序を示す。つまり、図4の特性は、電気抵抗率の飽和状態の印加磁場を減少し（①）、逆方向に磁場を飽和状態にまで印加し（②）、次に逆方向の磁場を減少し（③）、正方向の磁場を飽和状態まで増加した（④）場合の特性である。

【0015】図4より、半導体薄膜の電気抵抗率は印加される磁場の強さ（絶対値）が増加すると急激に減少し飽和する。例えば10kOeの磁場で電気抵抗変化率は最大値に対して約26%減少（負の値）する。この値は、通常の金属強磁性体の変化率（～数パーセント）と比較して一桁ほど大きい。

【0016】以上のように、本発明である絶縁性強磁性半導体の電気抵抗率は、磁場に対する電気抵抗変化率が大きい。このことは、磁気感应材料として高感度の優れた材料であることを示している。本発明の半導体は微弱\*

\*な磁場を検出できる高感度磁気センサー材料、磁気テープやハードディスク等の磁気記録媒体からの情報の読み取り、書き込みを行う磁気ヘッド材料等に好ましい。電気抵抗変化率が20パーセント以上であれば、高感度磁気センサー材料、高感度磁気読み取り書き込みヘッド材料として使用できる。

【0017】

【発明の効果】本発明により、強磁性と絶縁性が共存する半導体新材料が供給できるので、メモリ機能を有する光・伝導デバイス等、既存のSiや化合物半導体では実現できない新しい電子機能素子が可能となる。これらの素子を利用すれば、使用しないときにはまったく電力を消費しないような超低消費電力の電子機器が達成されると期待される。又、本発明の絶縁性強磁性半導体は微弱な磁場に対して高感度に感应するので高感度磁気感应材料に適している。

【図面の簡単な説明】

【図1】 Crを置換したII-VI族半導体物質を分子線エピタキシー法により製造する場合の概念図である。

【図2】 本発明の一実施例であるCrを含む $ZnTe$ 磁性半導体膜の5Kでの磁化特性を示す図である。

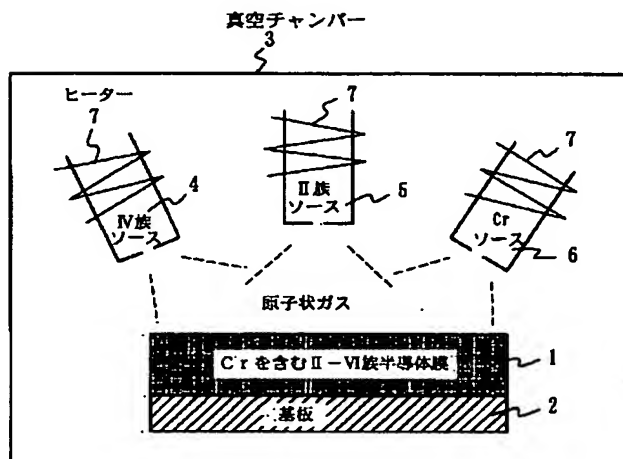
【図3】 本発明の一実施例であるCrを含む $ZnTe$ 半導体膜および従来の強磁性半導体であるMnを含むGaAs膜の電気抵抗率の温度依存性を示す図である。

【図4】 本発明の一実施例であるCrを含む $ZnTe$ 半導体膜の20Kでの電気抵抗変化率の磁場依存性を示す図である。

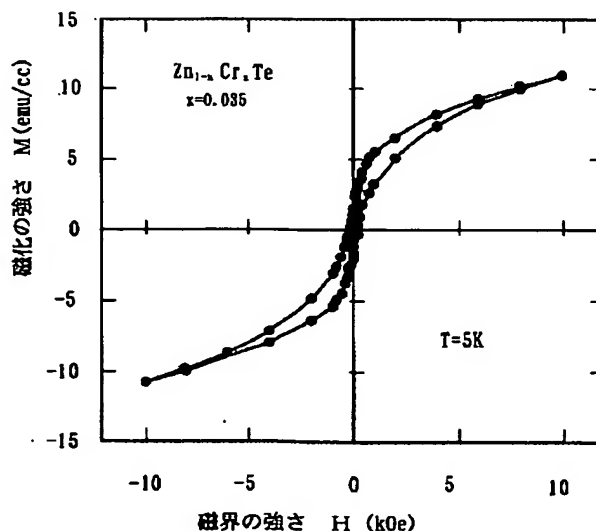
【符号の簡単な説明】

- 1 Crを含むII-VI族半導体膜
- 2 基板
- 3 真空チャンバー

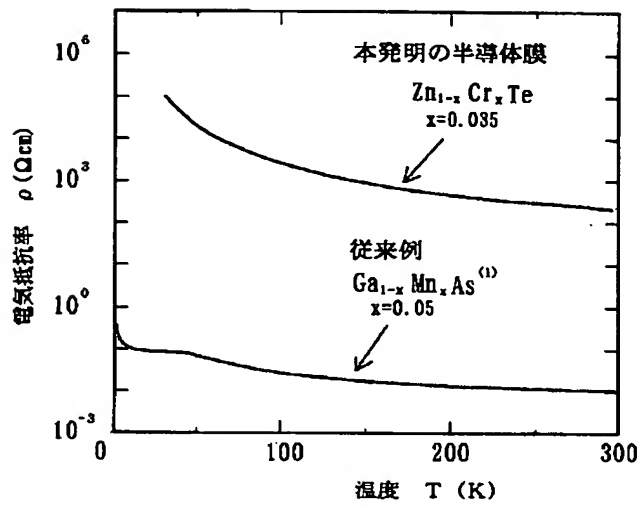
【図1】



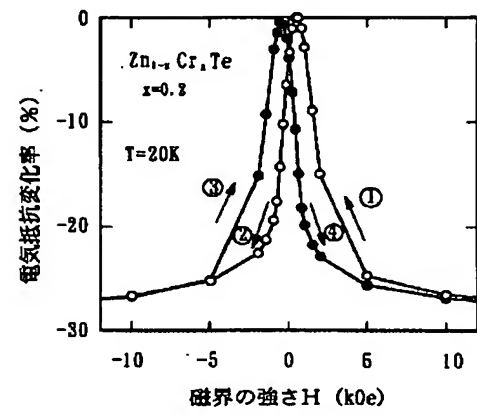
【図2】



【図3】



【図4】



フロントページの続き

Fターム(参考) 5E040 AB09 AB10 CA11  
 5E049 AB09 AB10 AC03 BA22